

УДК 691.015.42

О.Ю.СУПРУН

ОАО «Укрпромстрой», г.Харьков

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

## ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ ЖИДКОСТЕКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Приводятся результаты исследований жидкостекловых композиций различных составов на водопоглощение и теплостойкость.

Кислотостойкие растворы на основе жидкого стекла широко применяются в промышленном и коммунальном строительстве, а также при ремонте и реконструкции промышленных объектов для защиты конструкций и сооружений от кислых агрессивных сред. Наиболее распространенный вид конструкций, например, покрытия полов, а также облицовка различных каналов, тоннелей, газоходов. На ряде металлургических, химических, коммунальных, пищевых и других производств, ГРЭС, ТЭЦ из полимерсиликатного раствора выполнена также защита фундаментов под оборудование.

Как показали исследования, при отсутствии переменных температурных воздействий (внутри отапливаемых помещений) срок службы конструкций из полимерсиликатных составов обычно превышает 8-10 лет. При переменном нагреве до 100 °С и увлажнении кислыми растворами (например, крыши скрубберов производства искусственного волокна) срок службы между капитальными ремонтами сокращается до трех лет. Аналогичные условия эксплуатации имеют место в зоне действия нейтрализаторов и электролизеров, в отделениях целлюлозно-бумажных производств и т.д. Поэтому необходимо улучшить качество применяемых конструкций с использованием новых эффективных материалов. К этим задачам относится создание новых кислотостойких расширяющихся композиций на основе жидкого стекла, обладающих повышенной непроницаемостью и удовлетворяющих требованиям проведения работ в условиях реконструкции.

Эта задача решена путём введения в жидкостекловые смеси комплекса активных добавок, обеспечивающих реализацию новых свойств материала [1-6].

Существующие кислотоупорные композиции на основе жидкого стекла имеют небольшие сроки схватывания и твердения, обладают высокой прочностью и кислотостойкостью, относительно недорогие, не требуют сложного оборудования для приготовления. Существенными недостатками подобных материалов являются высокая проницаемость в разбавленных кислотах, усадка при твердении и, как след-

ствие, пониженная долговечность.

Вязущим в исследуемых композициях является жидкое стекло. В зависимости от его силикатного модуля изменяются и свойства кислотостойких материалов: с возрастанием модуля увеличивается химическая стойкость, однако водостойкость и механическая прочность падает, снижается жизнеспособность, уменьшается удобоукладываемость. Оптимальными считаются натриевые жидкие стекла с модулем 2,6-3,0 и удельной массой 1,35-1,45 г/см<sup>3</sup>. В настоящей работе использовали жидкое стекло с модулем 2,82 и удельной массой 1,4 г/см<sup>3</sup>.

Для проведения экспериментов были подобраны четыре состава композиции: две без полимерных добавок [6] и две с полимерными добавками (табл.1). В составе III применяли акриловый компаунд, состоящий из полимера АСТ-Т (порошок) и отвердителя АСТ-Т (мономер) [8]. В составе IV применяли фурфуроловый спирт [6, 7].

Подбор составов жидкостекольных композиций выполняли в два этапа. Первый этап заключался в определении расхода жидкого стекла, который зависит от вида и свойств конкретных сырьевых материалов и активных добавок. В настоящей работе расход жидкого стекла был принят минимально возможным, что позволило повысить плотность кислотостойких материалов. Вследствие этого полученные смеси были достаточно жесткими. Расход вязущего составил для растворов – 19,27-26,60% сверх массы сухой смеси.

Второй этап заключался в определении количества кремнефтористого натрия. Преобладает точка зрения, что количество кремнефтористого натрия должно соответствовать стехиометрическим соотношениям в его реакции с жидким стеклом. В настоящих исследованиях стехиометрическое количество кремнефторида принято равным 15% от массы жидкого стекла.

При разработке оптимального состава композиции III руководствовались следующими соображениями: степенью растворимости жидкого компонента метилметакрилатного компаунда в жидком стекле, а также рационального сочетания таких свойств, как проницаемость в слабокислой среде и характером линейных деформаций затвердевшего материала при первом нагреве до 200 °С.

Ниже приводятся характеристики материалов и данные их химических анализов:

*Жидкое стекло.* Соответствует ГОСТ 13078-81. Силикатный модуль – 2,81; плотность – 1,59 г/см<sup>3</sup>. В процессе подготовки к изготовлению образцов разбавлялось водой до 1,4 г/см<sup>3</sup> и фильтровалось через крупную сетку для удаления механических примесей и коагуляторов.

*Натрий кремнефтористый* марки „Ч”. Соответствует ТУ 6-09-1461-76. Был высушен при 80 °С, измельчен и пропущен сквозь сито №0056.

*Глинозем* ГК (окись алюминия). Соответствует ГОСТ 6912-74. Кислотостойкость – 69,04 %

*Глина* пятихатского месторождения Днепропетровской области. Соответствует ТУ 14-8-126-74. Была высушена при 150 °С и помолота до удельной поверхности 8000 см<sup>2</sup>/г. Химический состав, масс. %: SiO<sub>2</sub> – 48,00; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 30,55; CaO – 5,00; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,95; Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O – 0,92; SO<sub>3</sub>, MgO – следы; nnn – 10,56. Кислотостойкость – 67,70%.

*Пудра алюминиевая* пигментная ПАП-2. Соответствует ГОСТ 5494-71.

*Компоненты акрилового компаунда*: полимер – АСТ-Т (порошок), отвердитель АСТ-Т (жидкость). Соответствуют ТУ 64-2-226-83.

*Спирт фурфуроловый*. Соответствует ТУ МХП 2623-51.

*Мука диабазовая*. Соответствует ТУ 21-30-18-68.

*Песок кварцевый речной* Безлюдовского карьера Харьковской области. Модуль крупности – 0,92. Кислотостойкость – 96,51%.

Количество образцов определяли методом математического планирования экспериментов. Составы растворов представлены в табл.1.

Таблица 1 – Составы кислотостойких растворов и бетонов

Со- ставы	Компоненты % от сухой смеси к массе										
	кремнефтористый натрий, % кг/м <sup>3</sup>	пятихатская каоли- нистая глина, % кг/м <sup>3</sup>	окись алюминия (глинозем), % кг/м <sup>3</sup>	алюминиевая пудра ПАП – 2, % кг/м <sup>3</sup>	АСТ-Т тв., % кг/м <sup>3</sup>	АСТ-Т ж., % кг/м <sup>3</sup>	фурфуроловый спирт, % кг/м <sup>3</sup>	диабазовая мука, % кг/м <sup>3</sup>	речной кварцевый песок, % кг/м <sup>3</sup>	жидкое стекло (1:4) сверх масс сухого, % кг/м <sup>3</sup>	общая масса компо- нентов без жидкого стекла, кг
Р I	3,81 7,62							46,19 923,8	50,0 1000	25,4 508	2000
Р II	3,99 79,8	5,0 100	5,0 100	0,05 0,1				36,005 720,1	50,0 1000	26,6 532	2000
Р III	3,71 74,2		5,0 100	0,05 0,1	2,5 50	1,4 28		37,385 747,7	50,0 1000	24,73 494,7	2000
Р IV	2,89 57,8						1,0 20,0	46,11 922,2	50,0 1000	19,27 385,3	2000
											2385,3

Для проведения испытаний на водопоглощение все образцы помещали в воду при нормальной температуре. Уровень воды был выше образцов не менее чем на 200 мм. Перед погружением в воду все образцы взвешивались. Водопоглощение растворных и бетонных составов определяли весовым методом. Образцы находились в воде до того момента, когда их масса не стала постоянной. Через каждые 24 ч об-

разцы вынимали из воды, протирали ветошью и взвешивали. Затем снова погружали в воду. Взвешивание проводили до момента полного водонасыщения.

Водопоглощение определяли по формуле

$$v = (m_1 - m_2) \times 100\%, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса образца до погружения в воду;  $m_2$  – масса образца после погружения в воду.

В качестве растворных образцов использовали кубы размером 100×100×100 мм.

На многократные увлажнения и нагрев испытывали растворные образцы – балочки размером 4х4х16 см.

Испытывали образцы воздушного твердения, достигшие 28-суточного возраста. Перед началом испытаний образцы были прозвучены ультразвуковым импульсным методом на приборе УКБ-1М. Цикл испытаний осуществляли следующим образом. Образцы помещали в сушильный шкаф типа СНОЛ, где при 120 °С нагревали в течение 4 ч, после чего погружали в воду на 4 ч, а затем в течение 18 ч хранили на воздухе. Через каждые 20 циклов определяли скорость прохождения ультразвуковых волн в образцах на приборе УКБ-1М, после чего образцы взвешивали. Затем проводили определение прочности этих образцов, а также контрольных образцов при изгибе и сжатии на прессе FP 100/1.

Результаты экспериментов по определению водопоглощения представлены на рис.1, где показана кинетика поглощения воды растворными образцами. Анализ этих графиков говорит о том, что наиболее активное водопоглощение происходит в первые трое суток. Затем оно замедляется и прекращается через 8 суток выдерживания образцов в воде.

По результатам испытаний образцов на водопоглощение построены графики изменения водопоглощения в зависимости от состава раствора и бетона.

Наибольшее водопоглощение наблюдалось для состава РII – 6,5%, затем у состава PI – 5,6%. Наименьшее водопоглощение у состава RIV. Оно составило 1,2%, а для состава RIII – 3,4%.

Анализ полученных результатов показывает, что в обоих случаях, т.е. и для растворных, и для бетонных составов, наименьшее водопоглощение наблюдалось у состава IV, в который входит фурфуроловый спирт. Хороший результат наблюдается также и у состава III с добавкой акрилового компаунда.

В практике неразрушающего определения прочностных свойств бетона применяют измерение скорости распространения в нем продоль-

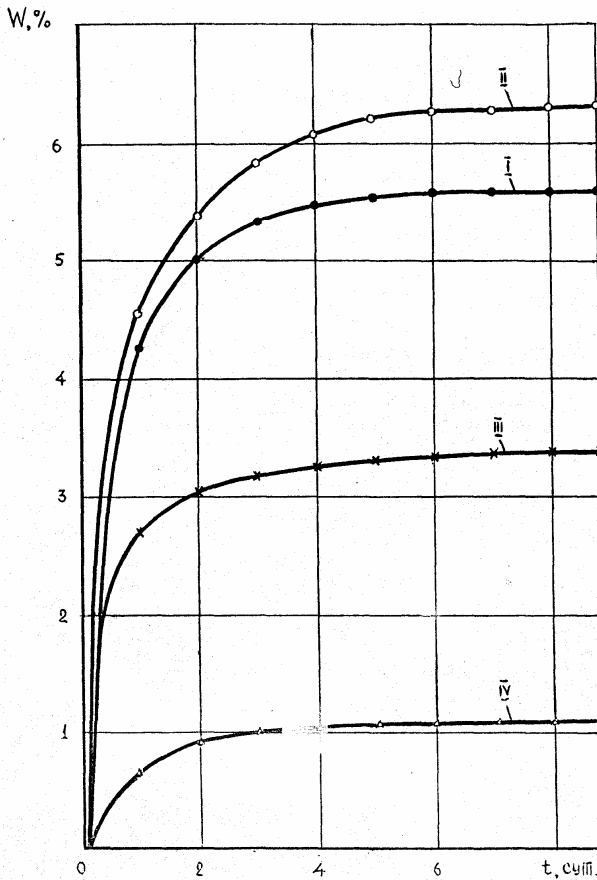


Рис.1 – Кинетика водопоглощения растворных образцов

льных ультразвуковых волн. Сущность ультразвукового импульсного метода состоит в том, что измеряют скорость распространения в бетоне переднего фронта продольной ультразвуковой волны  $v$  (скорость ультразвука). Исходя из зависимости  $R = f(v)$ , по измеренной  $v$  определяют прочность бетона. Для измерения  $v$  необходимо знать время прохождения ультразвука на участке определенной длины, называемой базой прозвучивания  $l$ . Измерение времени проводится в микросекундах. Испытание состоит в измерении времени распространения ультразвука по базе прозвучивания. По измеренным величинам рас-

считывают  $v$ , а затем по зависимости „ $v - R_{сж}$ ” определяют прочность бетона. Значение  $v$ , м/с вычисляют по формуле

$$v = 10^{-3} \times l/t. \quad (2)$$

Обработка данных свидетельствует, что в зависимости от числа циклов у всех без исключения исследуемых составов в той или иной степени снижается скорость прохождения ультразвука, что свидетельствует о снижении плотности и прочности испытываемых образцов по сравнению с контрольными. Скорость прохождения ультразвука в образцах РІ через 20 циклов испытаний снизилась в среднем с 1800 до 1640 м/с. В образцах РІІ наблюдается значительное снижение скорости. Уже через 20 циклов она снизилась с 2550 до 2450 м/с, а в образцах РІV скорость прохождения ультразвука снизилась через 20 циклов испытаний с 2390 до 2290 м/с.

По результатам испытаний построены графики изменения времени прохождения ультразвуковых волн через базу прозвучивания в зависимости от количества циклов испытаний (рис.2).

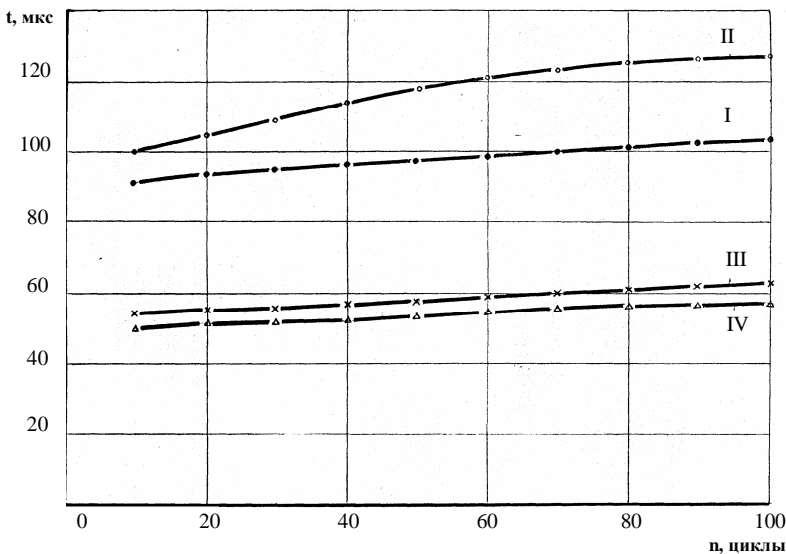


Рис.2 – Время прохождения ультразвука в образцах растворяемых составов при испытании на теплосмены

Анализ этих графиков свидетельствует о том, что наиболее возрастает время прохождения ультразвуковых волн в образцах составов I, II. Причем максимально оно увеличивается в образцах РІІ, что говорит о значительном снижении прочности РІІ, чего нельзя сказать о

составах РПШ и РIV. Как видно из графиков, здесь время прохождения ультразвука увеличивается незначительно и равномерно.

Аналогичные выводы получены при изучении данных по потере массы испытываемых образцов по сравнению с контрольными. Снижение массы особенно заметно после 40 циклов и более. У состава РI наблюдается снижение массы после 40 циклов на 4%, у состава РП – на 8%, у состава РПШ – на 1,8%, у РIV – на 1,4%. К концу испытаний, т.е. через 100 циклов масса снижается ещё значительней: состав РI – на 6,5%; состав РП – на 13,6%; состав РПШ – на 4,1%; состав РIV – на 3,2%.

Нужно отметить, что в образцах РI и РП после 40 циклов испытаний происходит частичное разрушение.

Результаты испытаний представлены в табл.2.

Результаты исследований прочности испытываемых образцов однозначно коррелируют с приведенными выше данными.

Прочность определяли путем испытания опытных образцов кратковременной статической нагрузкой при сжатии и изгибе. Испытания проводили на прессе FP 100/1. К прессу FP 100/1 была изготовлена дополнительная оснастка для проведения испытаний образцов на изгиб и сжатие.

Таблица 2 – Изменение массы образцов (4x4x16 см) растворных составов при испытании на теплосмены

№ состава	№ серии	Количество циклов						Примечание
		0	20	40	60	80	100	
I	1	490	480	470	460	455	430	После 40 циклов испытаний происходит частичное разрушение
	2	510	500	494	492	490	482	
	3	510	499	490	489	488	480	
II	1	500	485	460	430	425	420	После 40 циклов испытаний происходит частичное разрушение
	2	505	490	465	460	455	440	
	3	510	500	469	462	460	450	
III	1	480	470	469	464	460	458	Разрушений не наблюдалось
	2	530	525	521	519	515	512	
	3	510	505	501	497	494	490	
IV	1	515	510	508	506	503	500	Разрушений не наблюдалось
	2	535	531	528	525	522	520	
	3	510	504	502	496	492	490	

Скорость приложения нагрузки при определении прочности образцов на изгиб и сжатие была принята равной  $20 \pm 5$  кг/см<sup>2</sup>/с, а температура воздуха колебалась в пределах 18-20 °С.

Определение прочности при изгибе выполняли на образцах-балочках длиной 160 и поперечным сечением 40x40 мм в специальном приспособлении на прессе FP 100/1 со шкалой силоизмерителя 10 кН.

Предел прочности при изгибе подсчитывали по формуле

$$G = M / W , \quad (3)$$

где  $M$  – максимальный изгибающий момент, предшествующий разрушению;  $W$  – момент сопротивления площади поперечного сечения балки.

Предел прочности при сжатии вычисляли путем деления разрушающей нагрузки  $P$  на первоначальную площадь поперечного сечения  $F_0$ , т.е.

$$G = P_{\max} / F_0 . \quad (4)$$

Результаты определения прочности при кратковременном статическом нагружении на сжатие и изгиб приведены на графиках изменения прочности образцов в зависимости от количества циклов испытаний (рис.3).

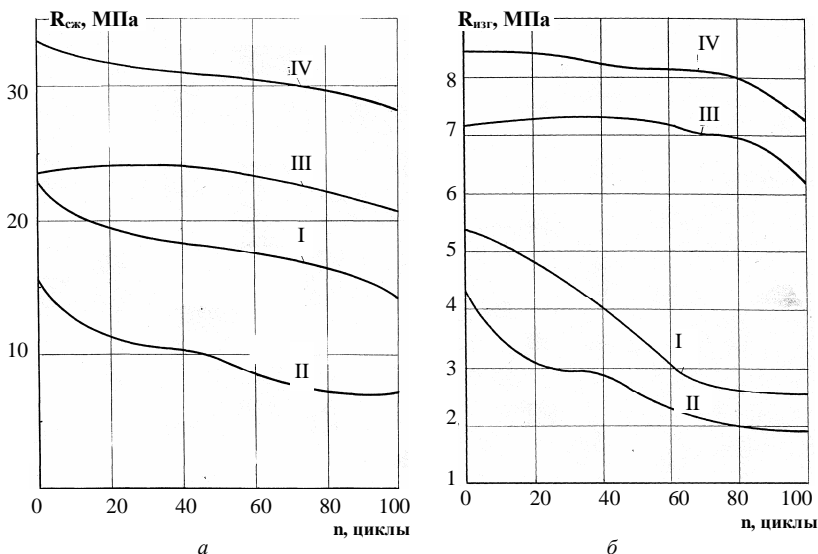


Рис.3 – Изменение прочности на сжатие и на изгиб растворяемых образцов при испытании на теплостойкость:

I – раствор РI; II – раствор РII; III – раствор РIII; IV – раствор РIV.

По результатам испытаний и из графиков видно, что прочность при сжатии и изгибе значительно уменьшается после 40 циклов испы-



таний. Особенно отмечено снижение предела прочности как при изгибе, так и при сжатии у растворных образцов I и II составов. Уже после 40 циклов у PI предел прочности при сжатии снизился на 19,5%, а у образцов PII он снизился на 32,5%. Еще большее снижение прочности наблюдается в этих составах после 80 цикла: PI – 31,7%; PII – на 49,2%.

Однако на протяжении всех испытаний в образцах составов III и IV наблюдается незначительное и равномерное снижение прочности. Так, у состава III после 80 циклов прочность снижается на 3,2%, у состава IV – на 6,9%. Причем к 80 циклу снижение прочности как у III, так и у IV составов замедляется. Очевидно, что определенным образом сказывается на прочности составов введение в PIII акрилового компаунда, а в PIV – фурфуроливого спирта.

Таким образом, результаты исследований физико-механических свойств кислотостойких растворов при испытании их на теплостойкость показывают, что наиболее прочными являются образцы составов III и IV. Вместе с тем необходимо провести еще ряд экспериментов по определению их физико-механических и физико-химических свойств.

1. Бичевой П.П., Чухниловский Н.А. Влияние природы жидкого стекла на свойства силикатных мастик // Монтажные и специальные строительные работы: Науч.-техн. реф. сб. Сер. IV. Противокоррозионные работы в строительстве. Вып.7. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1980. – С.13-14.

2. Пуляев И.Е., Отрепьев В.А. Пути улучшения структуры бетонов на основе жидких силикатных стекол // Бетон и железобетон. – 1978. – №4. – С.43-44.

3. Репин А.А., Хрусталева Н.В., Кем А.Е. Антикоррозионные кислотоупорные материалы и покрытия в промышленном строительстве. – Челябинск: Кн. изд-во, 1988. – 155 с.

4. Винарский В.Л. Защитные покрытия и футеровки в строительстве. – К.: Будівельник, 1976. – 173 с.

5. Пуляев И.Е., Отрепьев В.А. Проницаемость бетона на жидком стекле с добавками в кислотах и воде // Монтажные и специальные строительные работы: Науч.-техн. реф. сб. Сер.19. Противокоррозионные работы в строительстве. Вып.7. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1977. – С.11-13.

6. Супрун О.Ю. Жидкостекольные композиции для защиты строительных конструкций от коррозионных воздействий // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.63. – К: Техніка, 2005. – С.108-116.

7. Золотов М.С., Супрун О.Ю. Ресурсосберегающие жидкостекольные смеси для защиты строительных конструкций коммунальных предприятий от коррозии // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи енерго-, ресурсозбереження житлово-комунального господарства». – Алушта: ХОП НТТ КГ та ПО, ХНАМГ, 2005. – С.134-137.

8. Золотов М.С., Супрун О.Ю. Состав полимерсиликатов с применением акрилового компаунда // Тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. интернет-конф. «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве». – Харьков: ХНАГХ, 2006. – С.55-56.

*Получено 29.06.2006*